



انتخاب بهینه مناطق امیدبخش طلا و مس، براساس معیارهای اکتشافات ژئوشیمیایی در منطقه تنگ گورک (اقلید - فارس)

مهرداد کریمی^{۱*}، راضیه موسوی^۲

۱- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران
 ۲- دانش‌آموخته زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران
 * عهده‌دار مکاتبات: Karimimehrdad63@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۶، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

چکیده

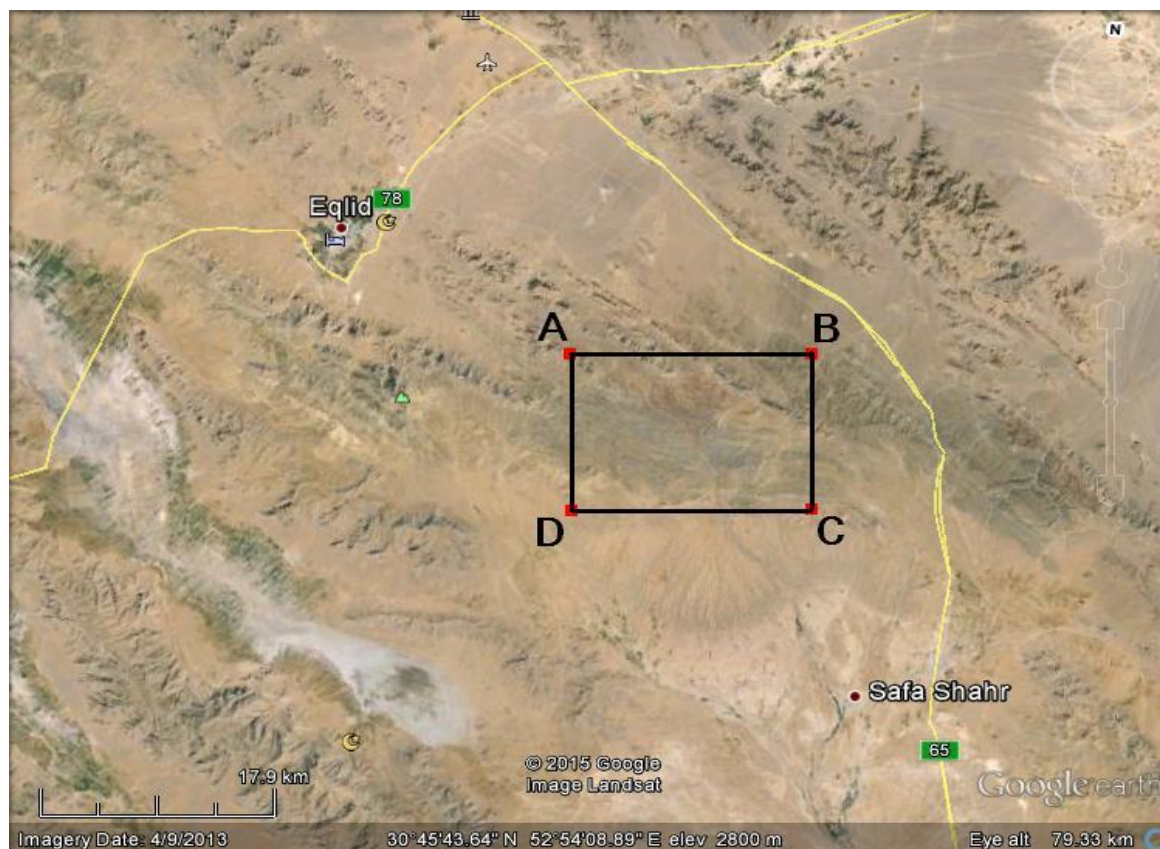
منطقه اکتشافی تنگ‌گورک در ۷۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان اقلید در شمال استان فارس و در زون دگرگونی سنندج- سیرجان قرار دارد. مطالعات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰ به روش رسوب آبراهه‌ای و به وسعت حدود ۱۸۶ کیلومتر مربع با هدف تعیین بخش‌های مستعد کانی‌سازی در این منطقه انجام شد. در این تحقیق پس از تهیه شبکه نمونه‌برداری، ۹۱۸ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای برداشت و به روش ICP-OES تجزیه شد. داده‌های ژئوشیمیایی با روش‌های آماری تک‌متغیره و چندمتغیره، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری و روش مؤلفه‌های اصلی پردازش و محل بی‌هنجاری‌های احتمالی و نواحی امیدبخش تعیین و توسط نرم‌افزار Arc GIS به صورت نقشه رسم شد. براساس مطالعات آماری ژئوشیمی و همچنین بررسی نقشه‌های بی‌هنجاری دو عنصر طلا و مس، دو ناحیه دارای پتانسیل‌های معدنی به‌عنوان نواحی امیدبخش با اولویت اول و دوم اکتشافی معرفی شده‌اند. مطالعات صحرایی نشان می‌دهد که این بی‌هنجاری‌ها در ارتباط با سنگ‌های دگرگونی و رگه‌های سیلیسی و زون‌های دگرسانی حاصل از سیال‌های گرمایی مربوطه هستند.

واژه‌های کلیدی: تنگ‌گورک، اکتشافات ژئوشیمیایی، رسوب آبراهه‌ای، طلا، مس

۱- مقدمه

1979; Lindqvist et al., 1987; Cheng, 1999; Li et al., 1999; Cheng, 2000; Cheng, 2004; Agterberg, 2001; Kaminskas, 2004; Xie et al., 2004; Deng et al., 2001; Deng et al., 2007; Deng et al., 2008; Wang et al., 2007) منطقه مورد اکتشاف با وسعت ۱۸۶ کیلومتر مربع در شمال استان فارس و در ۷۵ کیلومتری جنوب‌شرقی اقلید قرار دارد. شکل ۱ منطقه اکتشافی را بر روی تصویر ماهواره‌ای Google earth نشان می‌دهد. هدف از این مطالعه مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل و ارائه مناطق مناسب برای پی‌جویی مواد فلزی ارزشمند به‌ویژه طلا و مس و اولویت‌بندی آنها در منطقه با توجه به انطباق و مقایسه کلیه مطالعات اکتشافی انجام شده با بی‌هنجاری‌های حاصل از بررسی‌های ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای است. برای رسیدن به این هدف با استفاده از داده‌های ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای، پس از پردازش اولیه و پردازش آماری یک و چندمتغیره داده‌های حاصل از آن با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، غنی‌شدگی یا به عبارتی هاله ژئوشیمیایی عنصر طلا و مس رسم و داده‌های مختلف با هم ترکیب و مناطق امیدبخش معرفی شد.

استفاده جهانی از ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای نشان داده است که از این روش می‌توان برای اکتشاف نواحی مستعد و پتانسیل‌های کانسازی استفاده کرد. مطالعه ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای می‌تواند در تشخیص محیط و فرایندهای مؤثر در اکتشافات مواد معدنی، غلظت و پراکندگی عناصر در رسوبات و تعیین عناصر ردیاب برای دسترسی به مناطق امیدبخش کمک کند (Xie et al., 2010). در اکتشافات مقدماتی، بررسی ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای، یکی از روش‌های نمونه‌برداری اصلی است که به‌طور گسترده برای توصیف ژئوشیمیایی حوضه آبریز و همچنین مجزا کردن مناطق دارای ژئوشیمی غیرعادی به کار می‌رود (Cheng et al., 2009; Fletcher, 1997). روش‌های تشخیص الگو از دهه ۱۹۷۰ برای شناسایی اطلاعات زمین‌شناسی، اقتصادی و کانی‌سازی پنهان در داده‌های ژئوشیمیایی و تعیین الگوی زمینه ژئوشیمیایی چندمتغیره به کار گرفته شده‌اند (Howarth, 1983; Gustavsson and Bjorklund, 1976; Xie,



شکل ۱- منطقه اکتشافی بر روی تصویر ماهواره‌ای Google earth

۲- روش تحقیق

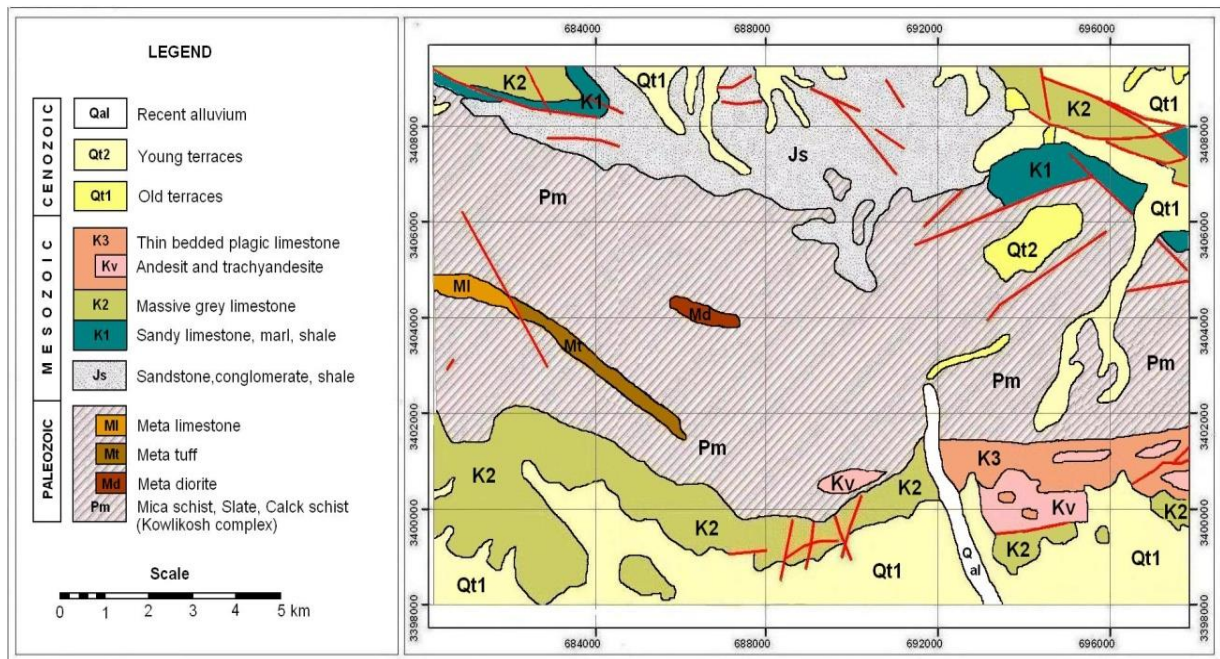
(۱۳۸۳). در نقشه ۱:۲۵۰۰۰ این منطقه رخنمون انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی با سن تریاس تا کواترنری دیده می‌شود (شکل ۲). قدیمی‌ترین واحد سنگی شامل سنگ‌های دگرگون‌شده پیش از تریاس بالایی است که مجموعه دگرگونی کولی‌کش نامیده می‌شود و از دیدگاه ریخت‌شناختی تپه‌های کم‌پلندایی را می‌سازد. این مجموعه به واحدهای کوچک‌تر از جمله توف دگرگون‌شده با ترکیب داسیت تا آندزیت، سنگ آهک، دیوریت دگرگون‌شده، میکا شیبست، کالک‌شیبست و اسلیت تفکیک می‌شوند. به دلیل چین‌خوردگی‌های بزرگ و کوچک متنوع و پرشمار، سامان و توالی مشخصی در لایه‌بندی این واحد دیده نمی‌شود. نهشته‌های وابسته به کرتاسه به گونه‌ای دگرشیب بر روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر و به‌ویژه واحد دگرگونی ناحیه می‌نشینند و به‌طور کلی از چندین واحد ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل، نهشته‌های کربناتی و مارنی همراه با سنگ‌های آتشفشانی تراکیتی و تراکی‌آندزیتی پدید آمده است. از دیگر واحدهای سنگی منطقه که رخنمون کوچکی را تشکیل می‌دهد، می‌توان به سنگ‌های آتشفشانی اسیدی با ترکیب ریولیت اشاره کرد (جعفری و همکاران، ۱۳۷۵). گسل‌های این منطقه عمدتاً به صورت راندگی‌هایی است که واحدهای سنگی مختلف را بر روی هم به سمت جنوب‌غرب رانده است. از دگرسانی‌های مهم در منطقه نیز می‌توان به دگرسانی هماتی، اپیدوتی، کلریتی، کلسیتی، پیریتی و سیلیسی اشاره کرد (رحمانی و جان‌نثاری، ۱۳۸۷).

برداشت‌های موردنیاز در این ناحیه در چند مرحله انجام شده است. در گام نخست، اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه شامل نقشه زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و اطلاعات و گزارش‌ها و منابع، گردآوری شد. سپس بازدید مقدماتی به منظور آشنایی با منطقه انجام شد. پس از بررسی لایه‌های اطلاعاتی موجود، شبکه نمونه‌برداری رسوبات آبراه‌ای، با تراکم ۵ نمونه در هر کیلومتر مربع طراحی شد. بر اساس این شبکه، ۹۱۸ نمونه از کل منطقه برای بررسی مطالعات اکتشافی هاله‌های ثانویه برداشت شد.

این نمونه‌ها برای تعیین عبار عناصر مورد اکتشاف، به روش ICP-OES در آزمایشگاه زرآما تجزیه ۴۴ عنصری شدند، برای تعیین طلا، روش Fire assay استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده پس از پردازش‌های لازم و محاسبات آماری با نرم‌افزارهای Excel و SPSS17 و با استفاده از نرم‌افزار Surfer 10 به صورت نقشه رسم و تحلیل شدند.

۳- زمین‌شناسی منطقه‌ای

منطقه مورد مطالعه در دو برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی اقلید و ده‌بید قرار دارد و از نظر زمین‌ساختاری، بخشی از زون سنندج-سیرجان و از نظر فلززایی بخشی از کمپلکس دگرگونی کولی‌کش به‌شمار می‌آید (آقابانی،



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه تنگ‌گورک

۴- بحث و بررسی

۴-۱- پیش‌پردازش داده‌ها

برای استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی، لازم است فرایند پیش‌پردازش بر روی داده‌ها انجام شود. این پیش‌پردازش شامل کارهایی مانند شناسایی و جایگزینی مقادیر سنسورد، جداسازی جوامع سنگی، حذف اثر سین‌ژنتیک، تصحیح مقادیر خارج از ردیف و بهنجارسازی داده‌ها برای فرایندهای چندمتغیره است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۱).

داده‌های سنسورد به داده‌هایی گفته می‌شود که به دلیل بالابودن حد حساسیت دستگاه‌های اندازه‌گیری و یا کوچک بودن مقادیر عناصر در این داده‌ها، به صورت مقادیر کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر از حد حساسیت دستگاه یافت می‌شوند. وجود مقادیر سنسورد در این سری داده‌ها، بررسی‌های آماری را دچار اشکال خواهد کرد، چراکه روش‌های آماری، به مجموعه کاملی از داده‌های غیرسنسورد نیاز دارند و وجود چنین مقادیری در مجموعه داده‌ها باعث بروز مشکلاتی از جمله ارزیابی غیردقیق در تعیین مقدار زمینه و شدت بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی می‌شود (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۱).

مهم‌ترین پارامتر در کاهش مقادیر سنسورد، انتخاب روش مناسب تجزیه شیمیایی و تعیین حد حساسیت آن است. اصولاً وجود مقادیر سنسورد برای یک عنصر، در تحلیل آماری اختلال ایجاد می‌کند (Goncalves et al., 1998). برای انجام محاسبات آماری، ابتدا مقادیر سنسورد برای تمامی عناصر محاسبه و جایگزین شده و پس از آن تمامی داده‌ها با آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۱، Rantitsch, 2000; Sanford et al., 1993) قرار گرفته و

عناصری که توزیع نرمال نداشتند با روش‌های تبدیل لگاریتمی و لگاریتم سه‌پارامتری نرمال شدند. در این مطالعه به منظور تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی محدوده مورد بررسی، از روش‌های آماری تک‌متغیره، دو متغیره و چندمتغیره استفاده شده است.

۴-۲- پردازش‌های آماری تک‌متغیره

بر این اساس، یک ارتباط نسبتاً قوی بین عناصر مس، منگنز و آهن (بالای ۰/۵) مشاهده شده است که بازتاب‌دهنده ارتباط زایشی میان این عناصر با یکدیگر است. در مقابل، ارتباط بین عناصر مس با سرب (۰/۱۲) و روی (۰/۳۹) تقریباً پایین بوده و می‌تواند نشانه‌ای از جابه‌جایی فضایی و به عبارتی مکانی کانی‌سازی‌های سرب و روی از کانی‌سازی مس باشد (موسوی، ۱۳۹۰).

در بررسی‌های آماری تک‌متغیره، توزیع فراوانی و ویژگی‌های آماری هر یک از عناصر به صورت جداگانه بررسی می‌شود. پس از آنکه داده‌های ژئوشیمیایی با روش‌های مختلف نرمال شدند، با استفاده از نرم‌افزار SPSS17، پردازش‌های آماری تک‌متغیره و چندمتغیره معمول بر روی داده‌ها انجام شد. بر این اساس پارامترهای آماری میانگین، میانه، مُد، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، بیشینه، کمینه و مقادیری مانند میانگین ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ موسوم به مقادیر چارکی، در مورد هر عنصر محاسبه شدند (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

نتایج این محاسبات برای ۸ عنصر مهم در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس اطلاعات این جدول و افزایش مقدار عیار برخی از عناصر، بررسی اکتشافی به منظور یافتن پتانسیل‌هایی از آنها و یا عناصر همراه با آنها انجام شد.

جدول ۱- پارامترهای آماری محاسبه شده برای داده‌های ۸ عنصر از ۴۴ عنصر تجزیه شده در منطقه تنگ گورک

	Au	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Pb	
Mean	۰.۲۷	۵.۵۰	۳.۵۹	۱۰.۶	۶.۵۸	۴.۸۱	۰.۰۷	۳.۱۳	
Median	۰.۰۰	۵.۴۶	۳.۵۸	۱۰.۶	۶.۸۳	۴.۵۰	۰.۰۶	۳.۱۴	
Mode	۰.۰۰	۵.۳۳	۳.۵۸	۱۰.۶	۶.۸۳	۴.۴۹	۰.۰۱	۳.۱۴	
Std. Deviation	۰.۹۵	۰.۴۴	۰.۳۰	۰.۱۷	۰.۲۸	۰.۱۶	۰.۱۳	۰.۸۹	
Variance	۰.۳۱	۰.۱۹	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰	
Skewness	۱.۴۳	۰.۷۶	۰.۷۵	۱.۱۰	-۰.۱۵	۰.۰۷	۰.۸۷	۰.۴۱	
Kurtosis	۲.۱۵	۰.۹۴	۱.۱۸	۰.۶۶	۱.۴۱	۱.۲۵	۰.۷۵	۱.۳۰	
K.S.test	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۱۷	۰.۶۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	
Percentiles	25	۰.۰۰	۵.۲	۳.۴۰	۱۰.۵	۶.۶۱	۴.۴۲	-۰.۰۲	۳.۰۹
	50	۰.۰۰	۵.۴	۳.۵۸	۱۰.۶	۶.۸۲	۴.۵۲	۰.۰۶	۳.۱۴
	75	۰.۶۹	۵.۷۳	۳.۷۴	۱۰.۷	۷.۰۰	۴.۶۲	۰.۱۵	۳.۱۸

۳-۴-۱- تحلیل ضرایب همبستگی

روابط بین عنصرها با یکدیگر را می‌توان با رسم و محاسبه ماتریس همبستگی برای مجموعه داده‌ها آزمایش و بررسی کرد. در منطقه تنگ گورک ضرایب همبستگی عناصر به روش پیرسون (Swan and Sandilands, 1995; Wellmer, 1998) برای یافته‌های بهنجار شده محاسبه شد (جدول ۲). برای محاسبه ضریب همبستگی به روش پیرسون بایستی حتماً توزیع داده‌ها نرمال باشد (Wellmer, 1998) بر این اساس یک ارتباط نسبتاً قوی بین عناصر مس، منگنز و آهن (بالای ۰/۵) مشاهده شده است که انعکاس دهنده ارتباط زایشی میان این عناصر با یکدیگر است. در مقابل، ارتباط بین عناصر مس با سرب (۰/۱۲) و روی (۰/۳۹) تقریباً ضعیف بوده و می‌تواند نشانه‌ای از جابه‌جایی مکانی کانی‌سازی‌های سرب و روی از کانی‌سازی مس باشد.

۳-۴-۲- پردازش‌های آماری چند متغیره

در روش‌های آماری چندمتغیره، برخلاف روش‌های تک‌متغیره، امکان تحلیل آماری همزمان چندین متغیر وجود دارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۵). به عبارت دیگر، تحلیل چندمتغیره یک روش تحلیل داده‌هاست که بر روی متغیرهای گروه‌بندی شده اعمال می‌شود و اطلاعات ژئوشیمیایی را براساس متغیرهای گروه‌بندی شده، به صورت کمی دسته‌بندی می‌کند. بنابراین استفاده از تحلیل چندمتغیره امکان مطالعات چندعنصری و پردازش هم‌زمان چندمتغیر و ارتباط آنها با هم را فراهم می‌نماید (Greenacre, 1984; Benzecri, 1980). در این مطالعه آماری از پارامترهای ضرایب همبستگی، تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد که در زیر به شرح مختصری از هر کدام می‌پردازیم.

جدول ۲- ضریب همبستگی عناصر پارامتری

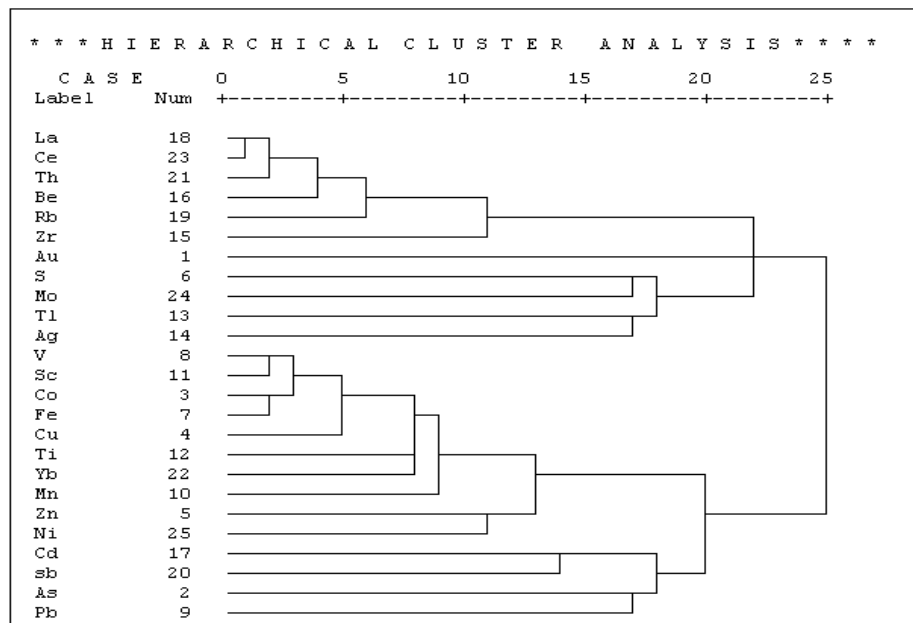
	Au	S	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Pb
Au	۱	۰.۰۱	۰.۰۳	-۰.۰۲	-۰.۰۱	-۰.۰۹	۰.۰۵	-۰.۰۵
S	۰.۰۱	۱	-۰.۰۳	-۰.۰۴	-۰.۰۳	-۰.۰۲	۰.۲۸	-۰.۰۴
Cu	۰.۰۳	-۰.۰۳	۱	۰.۷۶	۰.۵۸	۰.۳۹	-۰.۰۴	۰.۱۲
Fe	-۰.۰۲	-۰.۰۴	۰.۷۶	۱	۰.۶۴	۰.۵۸	-۰.۴۵	۰.۱۸
Mn	-۰.۰۱	-۰.۰۳	۰.۵۸	۰.۶۴	۱	۰.۵۸	۰.۰۲	-۰.۳۴
Zn	-۰.۰۹	-۰.۰۲	۰.۳۹	۰.۵۸	۰.۵۸	۱	-۰.۱۲	۰.۴۲
Mo	۰.۰۵	۰.۲۸	-۰.۰۴	-۰.۴۵	-۰.۰۲	-۰.۱۲	۱	۰.۰۹
Pb	-۰.۰۵	-۰.۰۴	۰.۱۲	۰.۱۸	۰.۳۴	۰.۴۲	۰.۰۹	۱

۴-۳-۲- تحلیل خوشه‌ای

ماتریس شباهت‌ها هستند (Davis, 2002). در مرحله اول دو نمونه و یا دو متغیری که بیشترین شباهت را دارند و در هر تکرار، شبیه‌ترین زوج خوشه‌ها یا اشیا به هم وصل می‌شوند. نتیجه حاصل به شکل دندروگرام نمایش داده شده است (شکل ۳).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود این دندروگرام شامل دو شاخه اصلی است که بیانگر ارتباط پاراژنتیکی بین دو گروه از متغیرهاست (Cheng et al., 1994). در گروه اول، عناصر مهمی چون طلا، مولیبدن، عناصر کمیاب قلیایی و کمیاب خاکی دیده می‌شوند. گروه دوم شامل عناصر سرب، روی، منگنز، مس، وانادیم و غیره است. به‌طور کلی تجزیه خوشه‌ای داده‌های ژئوشیمیایی، دو شاخه فرعی را در گروه دوم نشان می‌دهد. شاخه فرعی اول شامل عناصر مس، آهن، کبالت، منگنز، روی و وانادیم، و شاخه فرعی دوم حاوی آرسنیک و سرب است که به‌عنوان شاخه‌های مرتبط با کانی‌سازی‌های محدوده قابل معرفی است.

در تحلیل خوشه‌ای، هدف دستیابی به ملاکی برای دسته‌بندی هر چه مناسب‌تر یک ابزار مناسب برای جداسازی متغیرهای مشابه در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی متغیرها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۱). تحلیل خوشه‌ای به‌طور موفقیت‌آمیز در اکتشاف ژئوشیمیایی به‌کار برده شده است (Rantitsch, 2000; Hanesch et al., 2001). برای خوشه‌بندی داده‌ها از روش اتصال (Linkage) استفاده شد، که در آن به ترتیب نمونه‌ها و یا متغیرها با شباهت بیشتر، به هم متصل می‌شوند. در خوشه‌بندی از الگوریتم‌های متنوعی استفاده می‌شود که از جمله آنها می‌توان به روش‌های اتصال نزدیک‌ترین همسایگی، اتصال دورترین همسایگی، اتصال میانگین و روش وارد اشاره کرد (Templ et al., 2008; Borovec, 1996). همه روش‌های خوشه‌بندی مبتنی بر



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای داده‌های رسوب آبراهه‌ای منطقه تنگ‌گورک

(2005; Sun et al., 2009)

تحلیل عاملی به روش مؤلفه‌های اصلی (PCA) نیز یکی دیگر از روش‌های آماری چندمتغیره است که با هدف کاهش ابعاد داده‌ها بین مجموعه‌ای از متغیرها که ظاهراً بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند (Levine et al., 1999). در این آزمون از روش KMO استفاده شده است. مقادیر KMO بزرگ‌تر از ۰/۹ بیانگر این است که انجام تحلیل عاملی از اعتبار بالایی برخوردار است. به همین ترتیب مقادیر ۰/۸ از اعتبار بالا، ۰/۷ متعادل، ۰/۶ اعتبار متوسط، ۰/۵ اعتبار ناچیز دارند و مقادیر کمتر از ۰/۵ در انجام تحلیل عاملی فاقد اعتبار هستند (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۵) که این مقدار در منطقه مورد مطالعه برای این عناصر در حد مناسب (۰/۸۶) است (جدول ۳).

۴-۳-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

به منظور مشخص کردن روابط پاراژنتزی بین عناصر مورد بررسی و همچنین تعیین عوامل مؤثر در پراکندگی آنها، می‌توان از روش تحلیل عاملی استفاده کرد. در واقع هدف از تحلیل عاملی، تشخیص اصلی‌ترین متغیرهای کنترل‌کننده است به گونه‌ای که بتوان با کمترین تعداد متغیرهای عاملی، بیشترین تغییرپذیری بین داده‌ها را توجیه کرد. تحلیل عاملی، یکی از روش‌های تحلیل چندمتغیره است که به‌طور گسترده‌ای در اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه‌ای به منظور شناسایی مناطق و نواحی امیدبخش کانی‌سازی استفاده می‌شود (Borovec, 1996; Reimann et al., 2002; Kumru & Bakac, 2003; Helvoort et al.,

اکتشافی در هر مؤلفه را نشان می‌دهد و همچنین نقشه مؤلفه‌های اول، سوم و پنجم که منطبق بر مناطق بی‌هنجاری و رخدادهای کانی‌سازی منطقه هستند، در شکل ۴ مشاهده می‌شود. برای رسم نقشه مؤلفه‌های اصلی از نرم‌افزار Surfer 10 بهره گرفته شده است. پراکندگی عامل اول بر اساس شکل ۳ بیشتر در مرکز و جنوب‌شرق منطقه متمرکز بوده و می‌توان بی‌هنجاری‌های این عناصر را مرتبط با واحدهای دگرگونی، آهک کرتاسه و واحدهای آتشفشانی دانست. پراکندگی بی‌هنجاری‌های اصلی عامل سوم و پنجم نیز در ارتباط با واحدهای دگرگونی منطقه مورد اکتشاف است (موسوی، ۱۳۹۰).

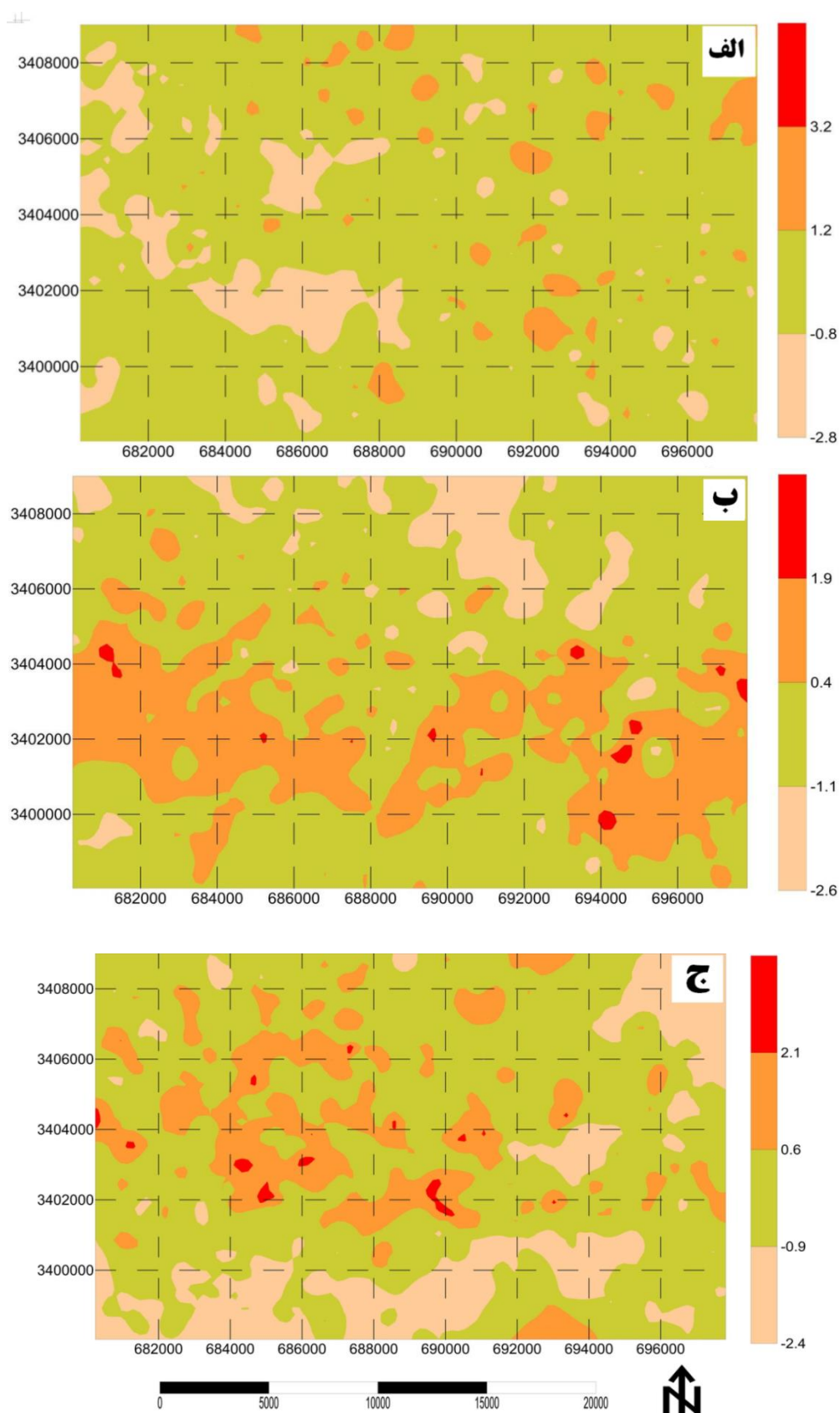
از آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی در بهترین شرایط مورد بررسی، ۵ مؤلفه اصلی را می‌توان مشخص کرد. هر یک از این ۵ مؤلفه اصلی تغییرپذیری عناصر خاصی را در منطقه نشان می‌دهند، به گونه‌ای که در مؤلفه اول بیشترین درصد تغییرپذیری بین متغیرها توجیه شده و عناصر Ti, Fe, Cu, Mn به ترتیب مجموعه عناصر (Be, La, Rb, Th, Ce), (Mo, Cd, Sb,), (Pb, Ni), (Au) اهمیت دارند. هر مؤلفه بخشی از تغییرپذیری داده‌ها را توجیه کرده و معرف حضور بی‌هنجاری است (حسنی‌پاک، شرف‌الدین، ۱۳۸۱). جدول ۴ درصد تغییرپذیری و مقادیر بار عاملی عناصر مهم

جدول ۳- مقادیر آزمون KMO و بارلت برای نمونه‌های آبراه‌های در منطقه اکتشافی تنگ‌گورک

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy		۰.۸۶۶
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	۲.۳۵
	df	۳۰۰
	Sig	۰.۰۰

جدول ۴- درصد توجیه‌پذیری هر عامل و مقادیر بار عاملی عناصر مهم اکتشافی در ۵ مؤلفه اول

Component					
Elements	۱	۲	۳	۴	۵
Au	۰.۰۷	۰.۱۱	-۰.۱۲	-۰.۰۴	۰.۷۵
Zn	۰.۶۲	۰.۱۶	۰.۲۸	۰.۱۴	-۰.۴۱
Cu	۰.۸۲	-۰.۲۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۱۳
Fe	۰.۹۶	۰.۰۴	۰.۰۰	-۰.۰۶	۰.۰۴
S	-۰.۵۰	-۰.۰۲	۰.۱۹	-۰.۰۹	۰.۰۳
Mn	۰.۷۲	-۰.۰۰۹	۰.۱۸	۰.۰۹	-۰.۲۹
Pb	۰.۲۰	۰.۱۵	۰.۵۲	-۰.۱۴	-۰.۴۳
Mo	-۰.۴۹	۰.۱۳۲	۰.۵۰	-۰.۰۱	-۰.۰۴
Variance%	۳۱	۲۰.۵	۷.۹۶	۵.۳۲	۵.۳۰



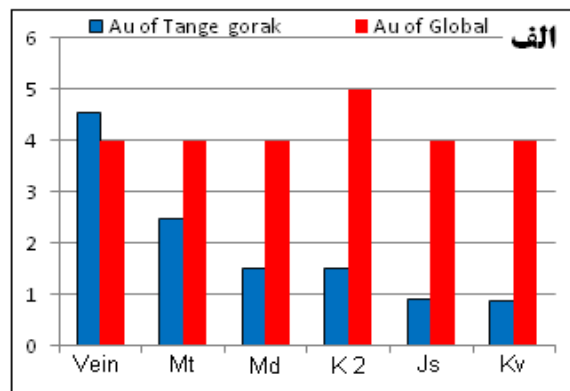
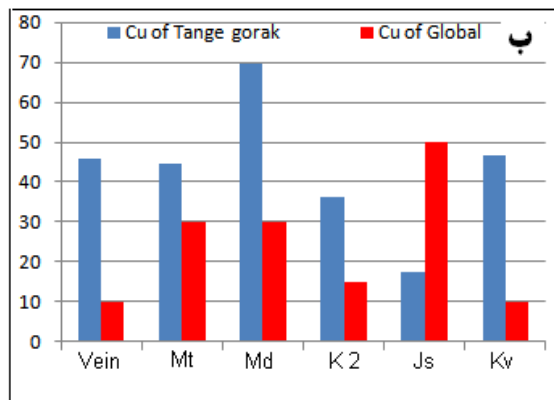
شکل ۴- نقشه‌های مربوط به توزیع بهنجار برای هر یک از ۳ مؤلفه منطبق بر رخدادهای کانی‌سازی منطقه تنگ‌گورک
 (الف) مؤلفه اول عناصر Ti, Fe, Cu, Mn (ب) مؤلفه سوم عناصر Mo, Cd, Sb, Pb (ج) مؤلفه پنجم عنصر Au

۴-۴- غنی‌شدگی عناصر در واحدهای سنگی

الف) عنصر طلا به گونه‌ای است که در ۶ گروه سنگی غنی‌شدگی نشان نمی‌دهد و تنها در رگه‌های سیلیسی اندکی افزایش یافته است.

ب) عیار مس در ۵ گروه از ۶ گروه سنگی منطقه نسبت به سنگ‌های مشابه خود در مقیاس جهانی افزایش نشان می‌دهد. اما بیشترین غنی‌شدگی این عنصر را در منطقه می‌توان به حضور واحدهای آتشفشانی و رگه‌های سیلیسی نسبت داد. این مقدار حدود ۵ برابر مقدار زمینه خود در سنگ‌هایی با ترکیب مشابه در مقیاس جهانی است (موسوی، ۱۳۹۰).

برای تعیین مقدار عیار عناصر کانی‌ساز در هر واحد سنگی منطقه، نمودار میانگین عناصر طلا و مس، که هدف اصلی اکتشافی منطقه هستند (رحمانی و جان‌نثاری، ۱۳۸۷) به طور جداگانه برای هر واحد سنگی رسم شده و با سنگ‌هایی با ترکیب مشابه آنها در مقیاس جهانی مقایسه شدند (Levinson, 1980). این نمودارها در شکل ۵ دیده می‌شود. با بررسی این دو نمودار نتایج زیر حاصل می‌شود:



شکل ۵- نمودارهای مقایسه میانگین عنصر طلا و مس در واحدهای سنگی منطقه نسبت به سنگ‌های مشابه خود در مقیاس جهانی
الف) عنصر طلا ب) عنصر مس

در منطقه بیشتر می‌شود، حضور دارند (رحمانی و همکاران، ۱۳۸۷). حضور بالای مقادیر Au در این مناطق و همراهی زون‌های سیلیسی، امری توجیه‌پذیر است. با نگاهی به ساختارهای گسلی در منطقه می‌توان دریافت که زون‌های گسلی و شکستگی‌های متعلق به این ساختارها، که در امتداد این شکستگی‌ها، رگه‌های سیلیسی نیز تشکیل شده‌اند، بر تمرکز مقادیر بالای از عنصر Au در منطقه تأثیر بسزایی گذاشته است و تشکیل مناطق بی‌هنجاری در واقع به دلیل تسهیل حرکت و مهاجرت سیالات گرمایی حاوی این عنصر در بخش‌های یادشده و دگرسانی سیلیسی در منطقه است. شکل ۷ نقشه بی‌هنجاری عنصر طلا در منطقه تنگ‌گورک را نشان می‌دهد.

۴-۵-۲- بی‌هنجاری عنصر Cu

بیشترین عیار این عنصر منطبق بر بخش‌های میانی و غربی منطقه است. مقایسه نقشه بی‌هنجاری این عنصر با نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که حضور این عنصر مربوط به واحدهای آتشفشانی و رگه‌های سیلیسی منطقه است. در این واحدها آثار کانی‌سازی به‌صورت کانی‌های کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت و سولفات‌های تائوپه مس در سنگ‌ها دیده شده است (شکل ۶- ب). همچنین بی‌هنجاری‌های بخش غربی منطقه نیز منطبق با رخداد‌های مس جنوب بصیران و دره زالو است. شکل ۸ نقشه بی‌هنجاری عنصر مس در منطقه تنگ‌گورک را نشان می‌دهد.

۴-۵-۱- بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی

نمایش نتایج بی‌هنجاری ژئوشیمیایی برای مناطقی با تمرکز بالاتر عناصر نسبت به مقادیر حد آستانه است که برای رسم نقشه‌های غیرساختاری بر اساس پارامترهای آماری انحراف معیار (S) در نظر گرفته می‌شود. در این منطبق مقدار حد آستانه به صورت پارامتر $(\bar{X} + 2S)$ تعریف شده است (حسنی‌پاک، شرف‌الدین، ۱۳۸۱) به عبارت دیگر، مقادیر بزرگ‌تر از $(\bar{X} + 2S)$ را به‌عنوان بی‌هنجاری در نظر می‌گیرند (Hawkes & Webb, 1962) در این پژوهش نقشه‌های بی‌هنجاری برای دو عنصر طلا و مس که در منطقه مورد مطالعه نقش مهمی در کانی‌سازی دارند، توسط نرم‌افزار ARC GIS 9.3 تهیه شده است. این نقشه‌ها بر اساس داده‌های نرمال‌شده، با لحاظ شناسایی و جایگزین مقادیر خارج از رده بر اساس آزمون دورفل (Wellmer, 1998) در نمونه‌هاست.

۴-۵-۱- بی‌هنجاری عنصر Au

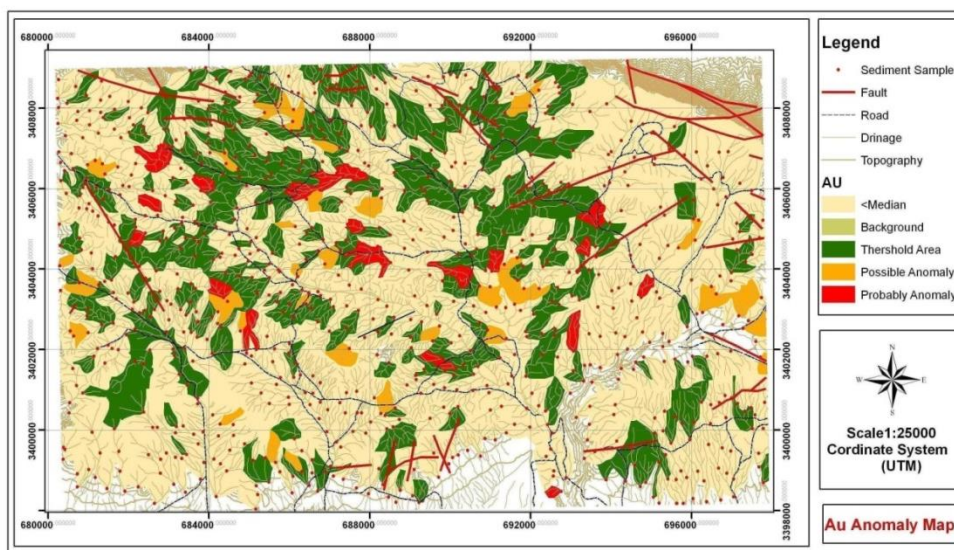
مهم‌ترین بی‌هنجاری‌های عنصر طلا در بخش‌های مرکزی منطقه مورد اکتشاف است. این بی‌هنجاری‌ها منطبق بر واحدهای سنگی میکاشیست، اسلیت و همچنین رگه‌های سیلیسی در منطقه است (شکل ۶- الف). اغلب رگه‌های سیلیسی در زون‌های گسلی و مناطقی که تراکم درزه و شکاف‌ها



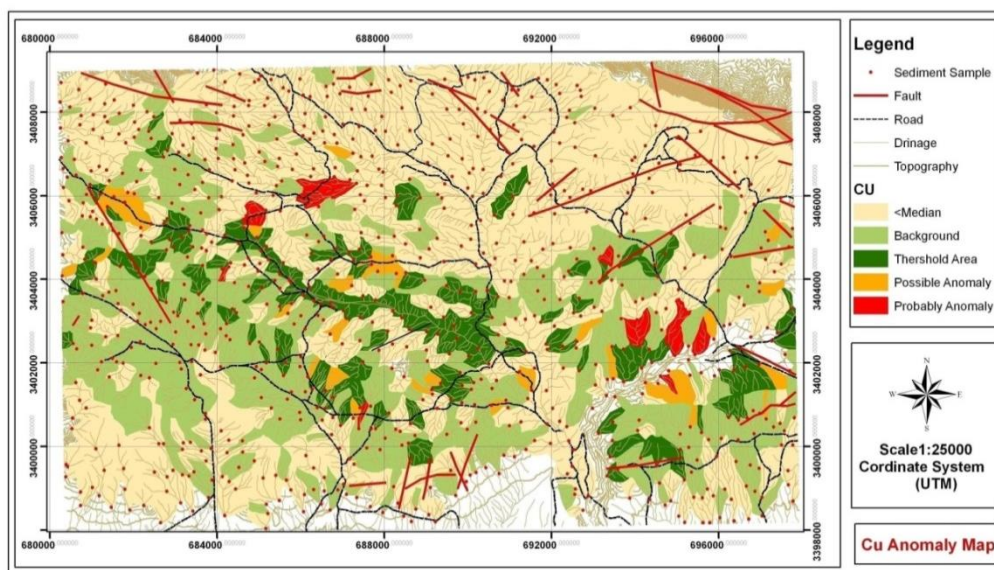
شکل ۶- الف) رگه‌های سیلیسی حاوی کانه‌زایی طلا در بخش مرکزی منطقه تنگ‌گورک



شکل ۶- ب) کانه‌زایی مس به صورت کالکوپیریت و مالاکیت در امتداد رگه‌های سیلیسی



شکل ۷- نقشه بی‌هنجاری عنصر طلا در منطقه تنگ‌گورک

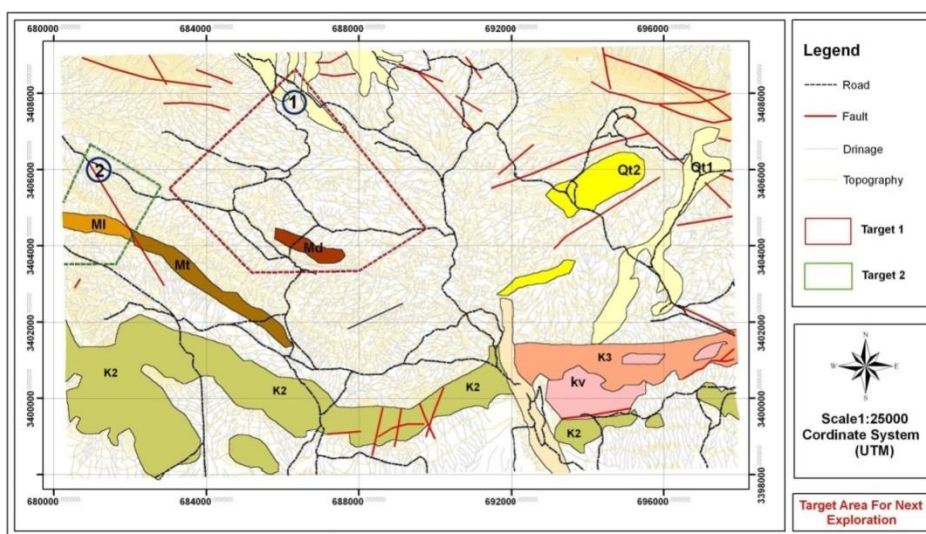


شکل ۸- نقشه بی‌هنجاری عنصر مس در منطقه تنگ‌گورک

نتیجه‌گیری

صحرائی، حضور کانی‌سازی طلا را در این بخش تأیید می‌کند. بنابراین مطالعات ژئوشیمیایی در این بخش، انطباق کاملی با شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد. بی‌هنجاری‌های مس اغلب در بخش جنوب و غرب این محدوده، مشاهده شده و نمونه‌هایی که دارای عیار طلائی بالایی هستند مس را نیز در حد کانی‌سازی کانساری در خود دارند. محدوده امیدبخش شماره دو با اولویت دوم اکتشافی به وسعت ۶ کیلومترمربع، در بخش غرب و شمال‌غرب منطقه تنگ‌گورک واقع است. این بخش منطبق بر واحدهای آهکی دگرگون‌شده و شیست و کوارتزیت است. نتایج تجزیه نمونه‌های کانه‌دار نشان‌دهنده عیار طلا و مس در دو مورد در حد کانی‌سازی غنی شده است. در بخش جنوبی این محدوده در میان رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی و قطعات سیلیسی همراه با دگرسانی، کانه‌زایی مس به‌صورت کالکوپیریت و مالاکیت گسترش دارد. نواحی امیدبخش یک و دو بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه در شکل ۹ مشخص شده است.

بر اساس مطالعات آماری ژئوشیمی و همچنین بررسی نقشه‌های بی‌هنجاری دو عنصر طلا و مس که در اکتشاف این منطقه حائز اهمیت هستند، می‌توان دو محدوده دارای کانی‌سازی احتمالی را در این منطقه مشخص کرد. این دو محدوده با عنوان نواحی امیدبخش و با اولویت اول و دوم اکتشافی برای عناصر طلا و مس معرفی شدند. محدوده شماره یک که دارای اولویت اکتشافی اول است، به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع در بخش شمال‌غربی منطقه تنگ‌گورک واقع است. محدوده موردنظر منطبق بر واحدهای ماسه‌سنگ و دیوریت دگرگون‌شده و همچنین شیست و کوارتزیت مجموعه دگرگونی کولی‌کش است. مشاهده سه نمونه کانه‌دار در حد کانی‌سازی کانساری در بخش‌هایی از این محدوده و حضور رگه‌های متعدد سیلیسی با ضخامت چند سانتی‌متر تا بیش از یک متر در بررسی‌های



شکل ۹- نقشه نواحی امیدبخش در منطقه تنگ‌گورک

Xu, D., and Wang, W., 2009, "Application of singularity in mineral deposit prediction in Gejiu district: Information integration and delineation of target areas", *Earth Science*, 34(1), P.243-252.

Davis, J. C., 2002, "Statistics and data analysis in geology", *John Wiley & Sons, 3rd Edition*, P.656.

Deng, J., Fang, Y. and Yang, L., 2001, "Numerical modeling of ore-forming dynamics of fractal dispersive fluid systems", *Acta Geol. Sin.* 75, P.220-232.

Deng, J., Wang, Q., Wan, L. and et al., 2007, "Singularity of Au distribution in altered rock type deposit -an example from Dayingezhuang gold ore deposit", In: *Zhao, P. (Ed.), The 12th Conference of the International Association for Mathematical Geology. China university of Geosciences Press, Wuhan, P. 44-47.*

Deng, J., Wang, Q., Wan, L., Yang, L., Zhou, L. and Zhao, J., 2008, "Random difference of the trace element distribution in skarn and marbles from Shizishan Orefield", *Anhui province, China. J. China Univ. Geosci.* 19 (4), P.319-326.

Fletcher, W.K., 1997, "Stream Sediment Geochemistry in Today's Exploration World", *University of British Columbia*, P.249-260.

Goncalves, M. A., Vairinho, M. & Oliveira, V., 1998, "Study of geochemical anomalies in Mombeja area using a multifractal methodology and geostatistics", In: *Buccianti, A., Nardi, G. & Potenza, R. (eds.), Proceedings of International Association for Mathematical Geology Meeting, 6-9 October, Ischia, Italy, Vol. 2: P.590-595.*

Greenacre, M., 1984, "Theory and Applications of Correspondence Analysis", *Academic Press, London*, P.109.

Gustavsson, N. and Bjorklund, A., 1976, "Lithological classification of tills by discriminant analysis", *J. Geochem. Explor.* 5, P.393-395.

Hanesch, M., Scholger, R. and Dekkers, M.J., 2001, "The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to a soil data set for the detection of polluted sites", *Phys. Chem. Earth, Part A Solid Earth Geod.* 26 (11-12), P.885-891.

Hawkes, H.E., Webb, L.S., 1962, "Geochemistry in Mineral Exploration", *Harper and Row, New York*, P.415.

Helvoort, P. J., Filzmoser, P. & Gaans, P. F. M., 2005, "Sequential Factor Analysis as a new approach to multivariate analysis of heterogeneous geochemical datasets", *An application to a bulk chemical characterization of fluvial deposits (Rhine-Meuse delta, The Netherlands)*, *Applied Geochemistry*, 20, P.2233-2251.

Howarth, R.J. and Sinding-Larsen, R., 1983, "Multivariate analysis", In: *Howarth, R.J. (Ed.), Statistics and Data Analysis in Geochemical Prospecting. Handbook of Exploration Geochemistry, vol. 2. Elsevier, Amsterdam*, P. 207-291.

Kaminskas, D., 2004, "Comparison of pattern-recognition techniques for classification of Silurian rocks from Lithuania based on geochemical data", *Nor. J. Geol.* 84 (2), P.117-124.

Kumru, M. N. & Bakac, M., 2003, "R-mode factor analysis applied to the distribution of elements in soils from the Aydin basin, Turkey", *Journal of Geochemical Exploration*, 77, P.81-91.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت‌های مالی شرکت مهندسی مشاور زمین آب‌پی برخوردار بوده، بنابراین بجاست نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. همچنین از نظرات و پیشنهادهای ارزنده و سازنده داوران محترم مجله نیز سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

آقایی، ع.، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۷۶ صفحه.

جعفری، م.، حاج حسینی، ا.، یوسفی، ط.، ۱۳۷۵، "نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اقلید" سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

رحمانی، ش.، جان‌نثاری، م.، ۱۳۸۷، "گزارش کنترل بی‌هنجاری‌های ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ اقلید" صفحات ۲۳-۲۷.

حسینی‌پاک، ع. ا.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۱، "تحلیل داده‌های اکتشافی" انتشارات دانشگاه تهران، ۹۷۷ صفحه.

حسینی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۷۷، "زمین‌آمار" انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳۸۹، ۳۱۴ صفحه.

موسوی، ر.، ۱۳۹۰، "بررسی پتانسیل معدنی با نگرشی بر اکتشافات ژئوشیمیایی در منطقه تنگ‌گورک (جنوب شرق شهرستان اقلید)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، ۲۵۷ صفحه.

یوسفی، م.، مرتضوی، م.، منتظری، ع.، توکل‌نیا، ک.، ۱۳۸۵، "کاربرد تجزیه و تحلیل‌های چندمتغیره در پردازش داده‌های اکتشافات ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای با نگرشی ویژه به آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای" دومین همایش منطقه‌ای مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، صفحات ۵-۲.

Benzecri, J.P., 1980, "L'analyse des donnees", *Tome 2: L'analyse des correspondences. Dunod, Paris*, P.2-60.

Borovec, Z., 1996, "Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure", *The Science of the Total Environment*, 177, P. 237-250.

Cheng, Q., 1999, "Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation", *J. Geochem. Explor.* 65 (5), P.175-194.

Cheng, Q., 2000, "Multifractal theory and geochemical element distribution pattern", *Earth Sci.-J. China Univ. Geosci.* 25 (3), P.311-318.

Cheng, Q., 2004, "A new model for quantifying anisotropic scale invariance and for decomposition of mixing patterns", *J. Math. Geol.* 36 (3), P.345-360.

Cheng, Q., Agterberg, F.P., Ballantyne, S.B., 1994, "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", *Journal of geochemical exploration*, 51, P.109-130.

Cheng, Q., Zhao, P., Zhang, S., Xia, Q., Chen, Z., Chen, J.,

- Levine, D.M., Krehbiel, T.C., Berenson, M.L., 1999**, "Business statistics", A first course ,Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Levinson A. A., 1980**, "Introduction to exploration geochemistry", second edition, Department Canada Alberta, University of Calgary-Calgary, of geology and eophysics, P.204..
- Li, C., Ma, T., Zhu, X. and et al., 1999**, "Fractal brownian motion and geochemical survey-a fractal approach to the spatial distribution of element contents in the crust" ,*Geol. Rev.* 45 (1), (in Chinese, with English abstract), P.76-84.
- Lindqvist, L., Lundholm, I., Nisca, D., Esbensen, K. and Wold, S., 1987**, "Multivariate geochemical modelling and integration with petrophysical data", *J. Geochem. Explor.* 29, P.279-294.
- Rantitsch G., 2000**, "Application of fuzzy clusters to quantify lithological background concentrations in stream-sediment geochemistry", *Elsevier, J. Geochem. Explor* 71, P. 73-82.
- Reimann, C. & Filzmoser, P., 2000**, "Normal and lognormal data distribution in geochemistry", *dead of a myth. Consequences of geochemical and environmental data. Environ. Geol.* 39, P.1001-1014.
- Sanford F., Pierson T., Crovelli R. A., 1993**, "An objective replacement method for censored geochemical data", *Elsevier, J.of Mathematical Geology*, 27, P.59-79.
- Sun, X., Deng, J., Gong, Q., Wang, Q., Yang, L. & Zhao, Z., 2009**, "Kohonen neural network and factor analysis based approach to geochemical data pattern recognition", *Journal of Geochemical Exploration*, 103, P.6-16.
- Swan A. R. H., Sandilands M., 1995**, "Introduction to geological data analysis", *Blackwell Science-Cambridge*, P.446.
- Templ, M., Filzmoser, P., Reimann, C., 2008**, "Cluster analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities", *Applied Geochemistry*, 23, P.2198-2213.
- Wang, Q., Deng, J. and Wan, L., 2007**, "Fractal analysis of element distribution in Damoqujia gold deposit, Shandong province", *China. Proceedings of the 12th conference of the international association mathematical Geology*, vol. 8, P. 262-265.
- Wellmer, F.W., 1998**, "Statistical evaluations in exploration for mineral deposits", *Springer-Verlag New York*, P.379.
- Xie, X., 1979**, "Regional Geochemical Prospecting", *Geological Press, Beijing*. P.192. (in Chinese).
- Xie, X., Liu, D., Xiang, Y., Yan, G. and Lian, C., 2004**, "Geochemical blocks for predicting large ore deposits-concept and methodology", *J. Geochem. Explor.* 84, P.77-91.
- Xie, Sh., Cheng, Q. Xing, X., Bao, Zh., & Chen, Zh., 2010**, "Geochemical multifractal distribution patterns in sediments from ordered streams", *Geoderma*, Vol. 160(1): P.36-46.

